

# 両面研磨におけるウェハ挙動の解析技術の開発

著者	橋本 洋平, 近藤 亮太, 古本 達明, 小谷野 智広, 細川 晃
著者別表示	Hashimoto Yohei, Kadono Ryota, Furumoto Tatsuaki, Kayano Tomohiro, Hosokawa Akira
雑誌名	精密工学会学術講演会講演論文集
巻	2016 Spring
号	E80
ページ	375-376
発行年	2016
URL	<a href="http://doi.org/10.24517/00050012">http://doi.org/10.24517/00050012</a>

doi: 10.11522/pscjspe.2016S.0\_375



## 両面研磨におけるウェハ挙動の解析技術の開発

金沢大学 ○橋本 洋平, 近藤 亮太, 古本 達明, 小谷野 智広, 細川 晃

Development of analysis model of wafer behavior in double-side polishing

Kanazawa University Yohei Hashimoto, Ryota Kondo, Tatsuaki Furumoto, Tomohiro Koyano and Akira Hosokawa

A behavior of a wafer is essential for understanding various phenomena and efficient development of technology in a double-side polishing. An analysis model of the behavior is developed in the present research. In the model, the behavior is determined by equilibrium of force and moment applied to the wafer. And contact status, i.e. stick, slip or non-contact, of contact between the wafer and a carrier is considered. The analysis with the model is excused and it's confirmed the contact status against the carrier changes in a polishing process. Therefore, it's thought that the developed model is valuable to provide new insights.

### 1. 緒言

両面研磨加工は、加工物の両面において良好な面粗度と平面度を比較的短時間で得ることができる、重要な加工技術であり、特に半導体ウェハの製造では、ウェハの初期研磨として不可欠な役割を果たしている。ただし、SiCやサファイヤなどのウェハにおいては、両面研磨加工で主に生じる研磨傷や加工変質層が半導体デバイスの性能を大きく低下させるため、後工程のCMPにおいて多大な時間とコストを費やしてその除去が行われている。このため、両面研磨加工において生じる研磨傷等を低減させることができれば、CMPに必要な時間やコストを大幅に削減することが可能であると考えられるが、現状では両面研磨加工に関する技術開発はほとんど行われていない。これは、両面研磨加工では、加工状態の観察および推定が困難であり、現状では加工現象を理解する上で重要となるウェハ運動が不十分であるためである<sup>2)</sup>。

これに対し、中川はウェハ回転数を上下の定盤との接触により生じるモーメントのつりあいにより決定する手法を提案している<sup>3)</sup>。しかし、この手法ではモーメントのつりあいに大きく影響するキャリアとの接触を無視しており、正確な検討を行うことはできない。このため、本研究では、ウェハとキャリアの接触を考慮し、ウェハに生じる力とモーメントのつりあいに着目した新しいウェハ挙動の解析技術の開発を行い、その結果について考察する。

### 2. 両面研磨におけるウェハ挙動の解析

両面研磨加工の模式図を図1に示す。キャリアに形成された穴に保持されるウェハは、上下の定盤との相対運動により研磨加工が行われる。ここで、キャリアは、サンギヤとインターナルギヤの回転数により決定される遊星運動をする。

加工面内における、キャリアとウェハの幾何学的関係を図2に示す。ここでは、図に示すように、原点Oを各ギヤの回転軸上とし、キャリア中心 $O_c$ に向かう方向をp軸、その垂直方向をq軸とする座標系を考える。原点とキャリア中心の距離を $L_c$ 、キャリア中心とウェハ保持穴の中心 $O_h$ の距離を $L_h$ とし、p軸に対するウェハ保持穴中心の角度を $\theta_h$ 、とすると、ウェハ保持穴中心のウェハ上の半径 $r$ 、角度 $\phi$ に存在する点Aの位置 $\mathbf{p}(r, \phi)$ およびウェハの速度 $\mathbf{v}^w(r, \phi)$ は式(1)と式(2)で表される。

$$\mathbf{p}(r, \phi) = L_c \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix} + L_h \begin{Bmatrix} \cos \theta_h \\ \sin \theta_h \end{Bmatrix} + \mathbf{d} + r \begin{Bmatrix} \cos \phi \\ \sin \phi \end{Bmatrix} \quad (1)$$

$$\mathbf{v}^w(r, \phi) = L_c \omega_{c,rev} \begin{Bmatrix} 0 \\ 1 \end{Bmatrix} + L_h \omega_{c,rot} \begin{Bmatrix} -\sin \theta_h \\ \cos \theta_h \end{Bmatrix} + \dot{\mathbf{d}} + r \omega_w \begin{Bmatrix} -\sin \phi \\ \cos \phi \end{Bmatrix} \quad (2)$$

ここで、 $\mathbf{d}$ および $\dot{\mathbf{d}}$ は保持穴中心に対するウェハ中心のズレのベクトルおよびその速度であり、 $\omega_{c,rev}$ と $\omega_{c,rot}$ はキャリアの公転と自転の角速度、 $\omega_w$ はウェハの角速度を表す。

一方、点Aにおける、上定盤の速度 $\mathbf{v}^t(r, \phi)$ と下定盤の速度 $\mathbf{v}^b(r, \phi)$ は、上定盤と下定盤の角速度 $\omega_t$ と $\omega_b$ 、位置 $\mathbf{p}(r, \phi)$ のp方向成分 $p_A$ とq方向成分 $q_A$ を用いて式(3)と式(4)で表される。

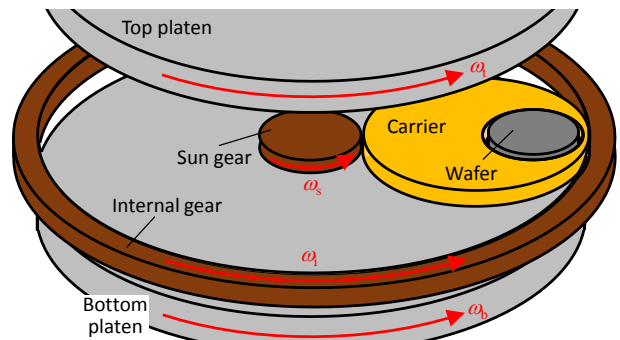


Fig. 1 Schematic illustration of double side polishing

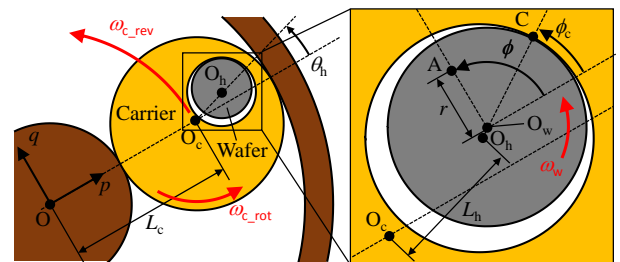


Fig. 2 Geometry of carrier and wafer

$$\mathbf{v}^t(r, \phi) = \omega_t \begin{Bmatrix} -q_A \\ p_A \end{Bmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{v}^b(r, \phi) = \omega_b \begin{Bmatrix} -q_A \\ p_A \end{Bmatrix} \quad (4)$$

点Aにおいて、ウェハと上定盤との接触により生じる摩擦力の方向は、ウェハに対する上定盤の相対速度 $\mathbf{v}^{tw}(r, \phi) = \mathbf{v}^t(r, \phi) - \mathbf{v}^w(r, \phi)$ の方向と一致する。このことから、研磨圧力分布 $\sigma^t(r, \phi)$ と上定盤との接触による摩擦係数分布 $\mu^t(r, \phi)$ を用いて、ウェハに生じる摩擦力 $\mathbf{F}^t$ は式(5)、モーメント $M^t$ は式(6)により算出することができる。

$$\mathbf{F}^t = \iint \sigma^t(r, \phi) \cdot \mu^t(r, \phi) \cdot \frac{\mathbf{v}^{tw}(r, \phi)}{|\mathbf{v}^{tw}(r, \phi)|} dA \quad (5)$$

$$M^t = \iint r \cdot \sigma^t(r, \phi) \cdot \mu^t(r, \phi) \cdot \frac{v_{\phi}^{tw}(r, \phi)}{|\mathbf{v}^{tw}(r, \phi)|} dA \quad (6)$$

ここで、 $v_{\phi}^{tw}(r, \phi)$ は $\mathbf{v}^{tw}(r, \phi)$ のウェハ周りの成分である。また、同様に、下定盤との接触により生じる摩擦力 $\mathbf{F}^b$ 、モーメント $M^b$ も算出することができる。

ウェハは十分軽く慣性力は無視することができるので、ウェハに生じる力とモーメントはつりあう必要がある。このため、ウェハとキャリアとの接触により生じる力 $\mathbf{F}^c$ およびモーメント $M^c$ は式(7)と式(8)により算出できる。

$$\mathbf{F}^c = -(\mathbf{F}^t + \mathbf{F}^b) \quad (7)$$

$$M^c = -(M^t + M^b) \quad (8)$$

ここで、p軸に対する接触点Cの角度を $\phi_c$ として、 $\mathbf{F}^c$ を垂直抗力 $F_n^c$ と、摩擦力 $F_t^c$ に分力する。垂直抗力は正である必要があるため

式(9)が、力とモーメントの関係から式(10)が成立する必要がある。

$$F_n^c \geq 0 \quad (9)$$

$$M^c = R_w F_t^c \quad (10)$$

ここで、 $R_w$ はウェハ半径である。また、ウェハとキャリアの接触は、接触点ですべりが生じず固着接触となる状態と、すべりが生じる状態が考えられる。まず、固着状態においては、接触点におけるウェハとキャリアの速度は一致するため、式(11)が成立する。また、式(12)に示すように、摩擦係数は静摩擦係数 $\mu^c_{stick}$ より小さくなる必要がある。

$$\omega_w = \frac{R_h}{R_w} \omega_{c,rot} \quad (11)$$

$$|F_t^c| \leq \mu^c_{stick} |F_n^c| \quad (12)$$

ここで、 $R_h$ はウェハ保持穴の半径である。

一方、すべり状態においては、式(13)に示すように、摩擦係数は静摩擦係数 $\mu^c_{slip}$ と一致する必要がある。また、摩擦力の方向は、接触点におけるウェハに対するキャリアの速度と一致するため、式(14)が成立する必要がある。

$$|F_t^c| = \mu^c_{slip} |F_n^c| \quad (13)$$

$$F_t^c \cdot \left( \frac{R_h}{R_w} \omega_{c,rot} - \omega_w \right) = -1 \quad (14)$$

このため、各接触状態に対して、上記の条件を満たすウェハ角速度 $\omega_w$ と接触位置 $\phi_c$ を探索することで、ウェハ挙動の解析を行う。ここで、成立する接触状態が存在しない場合は、ウェハとキャリアは非接触、つまり分離した状態であることを意味する。また、両接触状態とも満たす場合には、接触状態は直前と同一となる。

### 3. 提案手法によるウェハ挙動の解析

#### 3.1 解析条件

研磨圧力分布 $\sigma^t(r, \phi)$ および上下の定盤との接触による摩擦係数分布 $\mu^t(r, \phi)$ 、 $\mu^b(r, \phi)$ をウェハ全面で均一と仮定した条件でウェハ挙動の解析を行う。表1と表2に解析条件を示す。回転数の符号は回転の向きを表し、正はCCW、負はCWである。複数の摩擦係数において解析を実施し、摩擦係数とウェハ挙動の関係を検討する。なお、本条件における $\omega_{c,rev}$ と $\omega_{c,rot}$ は $20.9 \text{ min}^{-1}$ と $33.0 \text{ min}^{-1}$ 、固着状態のウェハ回転数 $\omega_w$ は $33.2 \text{ min}^{-1}$ である。 $R_w$ と $R_h$ はほぼ等しいため、保持穴中心に対するウェハ中心のズレ $d$ およびその速度 $\dot{d}$ は十分小さく、本解析では無視する。図3に各ウェハ保持穴中心の角度 $\theta_h$ におけるウェハ中心の速度を示す。図に示すように、 $q$ 方向成分は常に正である一方、 $p$ 方向成分は $\theta_h$ が $0^\circ$ と $180^\circ$ において反転する。

#### 3.2 解析結果

図4に解析によって得られた、各ウェハ保持穴中心の角度 $\theta_h$ におけるウェハ回転数 $\omega_w$ および接触位置 $\phi_c$ を示す。まず、上下の定盤との摩擦係数が一致する条件Cに着目する。 $\theta_h$ が $90^\circ$ 近傍と $270^\circ$ 近傍では、ウェハとキャリアが固着接触する。一方、 $\theta_h$ が $0^\circ$ 近傍と $180^\circ$ 近傍ではキャリアとの接触がすべり状態となり、ウェハ回転数は固着時と比べ低下する。そして、 $0^\circ$ と $180^\circ$ では、条件が成立するウェハ回転数は存在せず、ウェハとキャリアは非接触状態となる。これは、キャリアとの接触位置は、ウェハ中心の速度の $p$ 方向成分に依存するため、方向が反転する $0^\circ$ 近傍と $180^\circ$ 近傍において、不連続となるためである。これに対し、上下の定盤との摩擦係数の差が大きいくほど、キャリアとの接触により生じる力 $F^c$ の $p$ 方向成分が大きくなり、すべり状態となる $\theta_h$ の範囲は狭くなる。ただし、キャリアとの接触位置は、上下の定盤との摩擦係数の大小により反転する。このため、加工中の摩擦係数が大きく変化する場合には、安定したウェハ挙動とならないと考えられる。

なお、従来の解析手法では、本解析結果のような接触状態の変化を表すことができなかった。このため、提案する解析技術はウェハ挙動の解明や両面研磨加工の技術開発において、非常に有効

Table 1 Calculate conditions

Length [mm]	O-O <sub>c</sub>	128	Rotational speed [min <sup>-1</sup> ]	Top plate	-25
	O <sub>c</sub> -O <sub>h</sub>	30		Bottom plate	50
Radius [mm]	Hole	25.6		Sun gear	8
	Wafer	25.4		Internal gear	25
	Carrier	66	Polishing pressure [kPa]	20	

Table 2 Coefficient of friction against wafer

Condition	A	B	C	D	E
Top plate	0.40	0.45	0.5	0.55	0.65
Bottom plate	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Carrier	stick				0.3
	slip				0.5

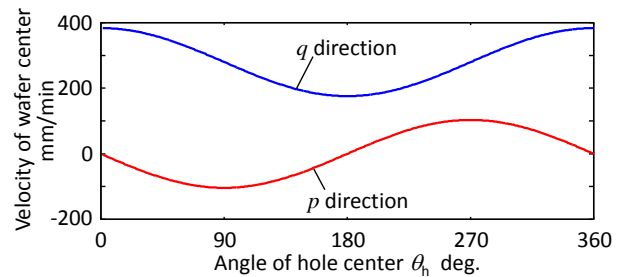
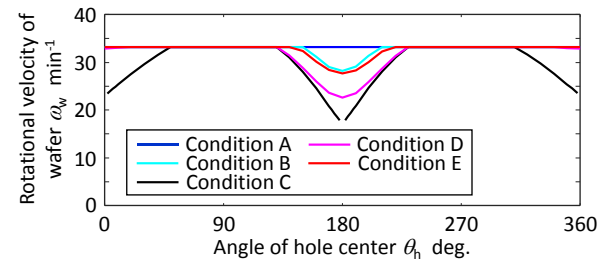
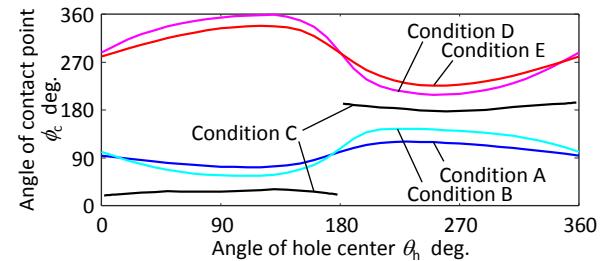


Fig. 3 Relationship between hole center angle / velocity of wafer center



(a) Rotational velocity of wafer



(b) Angle of contact point

Fig. 4 Analytical results

な技術であると考えられる。また、研磨圧力や摩擦係数の分布は、解析結果に大きく影響する要因である。このため、これらを考慮した解析も今後進めていく予定である。

### 4. 結言

両面研磨加工において、ウェハとキャリアの接触を考慮し、ウェハに生じる力とモーメントのつりあいに着目した、新しいウェハ挙動の解析技術の開発を行った。そして、本解析技術を用いた検討を行うことで、研磨中のウェハとキャリアの接触状態が変化することを明らかにした。このことから、本解析技術はウェハ挙動の解明において、重要な技術であると示唆される。

#### 参考文献

- 1) T. Kasai, A kinematic analysis of disk motion in a double sided polisher for chemical mechanical planarization (CMP), Tribology International, 41(2), (2008)
- 2) 佐藤ら, スケルトン両面研磨機における試料挙動の解明, 2012年度精密工学会春季大会, (2012)
- 3) 中川, 両面研磨における摩擦距離のウェハ面内分布均一化のための加工条件最適化, 精密工学会誌論文, 72(5), (2006)